PART3　工業的製法とルシャトリエの原理

目標　・ルシャトリエの原理を利用した工業的製法に触れてみよう！

Chapter1　アンモニアの工業的製法

要点

アンモニアの工業的製法

ハーバー・ボッシュ法

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$$

NH_3 の生成率を大きくするために，温度を低く，圧力を高く設定している。

◆ アンモニアの工業的製法　重要

ルシャトリエの原理は工業的製法にも利用されている。その代表的な 1 つがアンモニアの工業的製法，ハーバー・ボッシュ法である。

ハーバー・ボッシュ法では四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を用いて，N_2 と H_2 から NH_3 を合成する。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

◆ ハーバー・ボッシュ法とルシャトリエの原理　重要

ルシャトリエの原理を利用し，ハーバー・ボッシュ法における温度と圧力はどのように設定するとよいか，考えてみよう。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$$

温度

ハーバー・ボッシュ法は正反応が発熱反応であるため，ルシャトリエの原理より，温度が低いほど NH_3 の生成率は高くなる。

しかし，温度が低すぎると反応速度が小さくなり，平衡状態に達するまでの時間がかかるため，実際には 400 ～ 600℃に設定されている。

圧力

ハーバー・ボッシュ法は正反応が物質量減少方向であるため，ルシャトリエの原理より，圧力が高いほど NH_3 の生成率は高くなる。

しかし，圧力が高すぎると，その圧力に耐えられる設備が必要になり経費がかかるため，実際には $1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$ Pa に設定されている。

まとめ

・ハーバー・ボッシュ法（$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92$ kJ）

ルシャトリエの原理より，温度は（　　　　），圧力は（　　　　）ほど，NH_3 の生成率が高くなる。

Chapter2　グラフから読み取る問題①

要点

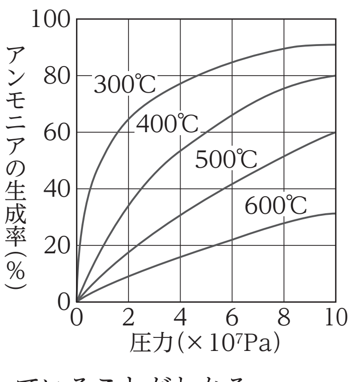
圧力と生成率・温度と生成率の関係

与えられたグラフから「圧力と生成率」「温度と生成率」の関係を読み取る。

◆ 圧力と生成率・温度と生成率の関係　重要

目的物質の生成率をグラフで与えられた場合には，「圧力と生成率」「温度と生成率」の関係をしっかりと読み取ろう。

例 ハーバー・ボッシュ法において，温度を一定に保ち，圧力の変化と NH_3 の生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。



圧力と生成率の関係

グラフより，圧力が高くなるほど NH_3 の生成率が高くなっていることがわかる。

ルシャトリエの原理より，圧力を高くすると物質量減少方向に平衡が移動する。

以上より，この反応は正反応が物質量減少方向とわかる。

温度と生成率の関係

グラフより，温度が高くなるほどNH_3の生成率が低くなっていることがわかる。

ルシャトリエの原理より，温度を高くすると吸熱方向に平衡が移動する。

以上より，この反応は正反応が発熱反応とわかる。

まとめ

・目的物質の生成率をグラフで与えられたときは，

「（　　　　）と生成率」「（　　　　）と生成率」の関係を読み取る。

Chapter3　グラフから読み取る問題②

要点

反応時間と生成率の関係

「反応時間と生成率」の関係をグラフで与えられたときは，平衡移動だけでなく反応速度も考える。

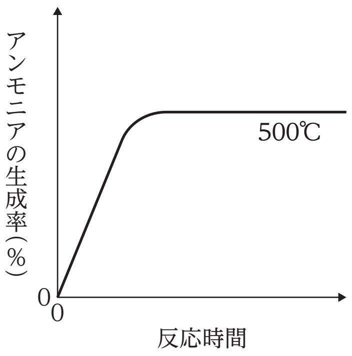
◆ 反応時間と生成率の関係 重要

目的物質の生成率をグラフで，「反応時間と生成率」の関係を与えられた場合は，平衡移動だけでなく反応速度も考える必要がある。

例 ハーバー・ボッシュ法において，温度を500℃に保ち，反応時間とNH_3の生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。

300℃でおこなうとどのようなグラフになるか，概略を書き込んでみよう。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$$



平衡移動（温度と生成率の関係）

ルシャトリエの原理より，温度を低くすると発熱方向に平衡が移動する。

この反応は正反応が発熱反応であるため，300℃にするとNH_3の生成率が高くなる。

反応速度

温度を下げると反応速度が小さくなる。

よって，平衡に達するまでの時間は500℃に比べ長くなる。

ちなみに，触媒を使うと，平衡は移動しないが反応速度は大きくなる。そのため，平衡に達するまでの時間は短くなるが，NH_3 の生成率は変化しないことに気をつけよう。

まとめ

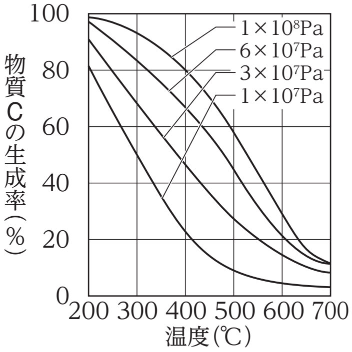
・「反応時間と生成率」の関係のグラフを与えられたときは，

（　　　　　　）だけでなく（　　　　　　）も考える。

Chapter4　演習問題

問　圧力一定のもとで以下の反応をおこない，温度と物質Cの生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。

$x\text{A} + y\text{B} \rightleftarrows z\text{C}$



(1)　この反応は発熱反応か，吸熱反応か。

(2)　係数 $x \cdot y \cdot z$ の関係として適切なものを選べ。

①　$x + y = z$　　②　$x + y < z$　　③　$x + y > z$

第 8 講　PART3　確認問題

問 1　アンモニアの工業的製法として，ハーバー・ボッシュ法という方法がある。ハーバー・ボッシュ法では，(　ア　) を主成分とする触媒を用いて，N_2 と H_2 から NH_3 を合成する。

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \qquad \Delta H = -92\mathrm{kJ}$

ハーバー・ボッシュ法ではルシャトリエの原理を利用し，温度を (　イ　)，圧力を (　ウ　) 設定して NH_3 の生成率を高めている。ただ，反応速度や設備の経費の観点から，実際には(a)温度は 400 ～ 600℃に，圧力は $1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$Pa に設定されている。

(1)　文中の (　ア　) に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

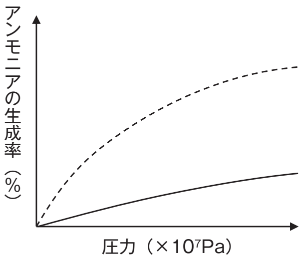
① 酸化バナジウム (V)　　② 白金
③ 二酸化マンガン　　④ 四酸化三鉄

(2)　文中の (　イ　)，(　ウ　) に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

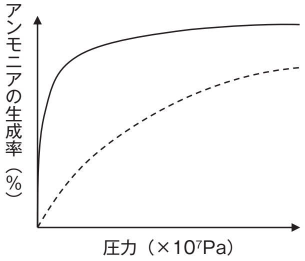
① イ：高く　ウ：高く　　② イ：高く　ウ：低く
③ イ：低く　ウ：高く　　④ イ：低く　ウ：低く

(3)　文中の下線部(a)について，400℃における「圧力と NH_3 の生成率」の関係と，600℃における「圧力と NH_3 の生成率」の関係を表したグラフとして適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。ただし，点線は 400℃におけるグラフを，実線は 600℃におけるグラフを表しているものとする。

a



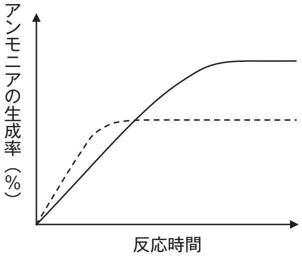
b



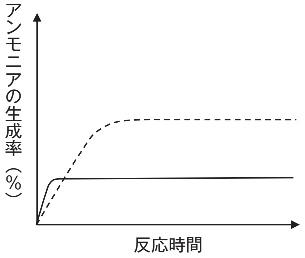
① a　　② b

(4) ハーバー・ボッシュ法において，触媒を加えない場合の「反応時間と NH_3 の生成率」の関係と，触媒を加えた場合の「反応時間と NH_3 の生成率」の関係を表したグラフとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。ただし，点線は触媒なしのグラフを，実線は触媒ありのグラフを表しているものとする。

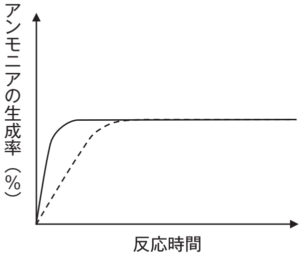
a



b



c



① a　　② b

③ c

第 8 講　化学平衡

PART1　平衡定数

問　2.4 mol

PART2　ルシャトリエの原理

問　⑴　左向き

⑵　移動しない

⑶　移動しない

⑷　左向き

PART3　工業的製法とルシャトリエの原理

問　⑴　発熱反応

⑵　③

PART4　水のイオン積・強酸強塩基のpH

問　12.7

PART5　弱酸・弱塩基の電離平衡

問　⑴　2.8

⑵　11

PART6　緩衝液・塩の加水分解

問　4.6

PART7　電離平衡の問題演習

Chapter2

問　3.0

Chapter3

問　4.6

Chapter4

問　(1)　2.8

(2)　4.6

(3)　加水分解 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + OH^-$により水酸化物イオンを生じるため

PART8　溶解度積

問　(1)　$1.7 \times 10^{-10} (mol/L)^2$

(2)　小さくなる

PART9　溶解度積の応用

問　生じていない

第 8 講　PART3　確認問題　解答

問 1

(1)　④

解説：

ハーバー・ボッシュ法では四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を用いる。

(2)　③

解説：

ハーバー・ボッシュ法は，正反応が発熱反応で物質量減少方向であることから，ルシャトリエの原理より，温度が低く圧力が高いほど NH_3 の生成率が高くなる。

(3)　①

解説：

(2)より，ハーバー・ボッシュ法では温度が低いほど NH_3 の生成率が高くなるので，600℃（実線）よりも 400℃（点線）の方が NH_3 の生成率が高くなる。

(4)　③

解説：

触媒を加えると，平衡は移動しないが反応速度は大きくなる。そのため，平衡に達するまでの時間は短くなるが，NH_3 の生成率は変化しない。